Über die bei ermüdender Muskelarbeit eintretende Veränderung der Blutverteilung im Körper gesunder Menschen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

der

Hohen medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

GÜNTHER MÜLLER

z. Zt. Feldhilfsarzt.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Göttingen 1917.

Druck der Dieterichschen Universitäts-Buchdruckerei (W. Fr. Kaestner).

Der medizinischen Fakultät der Universität Göttingen vorgelegt am 23. Mai 1917.

Referent: Herr Prof. Dr. Bruns.

Correferent: Herr Prof. Dr. Jensen.

Die Drucklegung ist seitens der Fakultät genehmigt.

Meinem Vater,

dem praktischen Arzte

Dr. med. Hermann Müller

in Dankbarkeit gewidmet.

Muskelarbeit und daraus folgende Ermüdung haben infolge ihres engen Zusammenhanges mit dem gesamten Organismus von jeher die Physiologen und Kliniker beschäftigt. Diesen Wechselbeziehungen hat Kraus[1]) klassischen Ausdruck gegeben. Er betrachtet die Muskelarbeit geradezu als ein Maß der konstitutionellen Kraft und sagt von ihr: „Der konstitutionellen Kraft sowohl vorübergehender angestrengter Muskelarbeit, als des anhaltend bewegten Lebens, unterliegen und stehen hinwiederum in regulatorischer Wechselbeziehung mit derselben: der Ernährungszustand, das Nervensystem, am sinnfälligsten und vielseitigsten aber der Kreislauf, Respiration, Perspiration, und Wärmehaushalt.“ Damit sind die Faktoren gegeben sowohl für das Zustandekommen der Muskelarbeit, wie für das Maß ihrer Leistung.

Es leuchtet ein, daß für die Leistung die Hauptpunkte sein werden: der Ernährungszustand, die Beschaffenheit des Nervensystems und des Kreislaufs. Ist der Zustand eines dieser drei Kardinalia irgendwie anormal, so wird sich das in einer verminderten Leistungsfähigkeit kundtun. Dieser Zustand tritt physiologischerweise bei der Ermüdung ein.

---

1) Kraus, Die Ermüdung als ein Maß der Konstitution. Bibliotheca Medica. Abt D. I. Innere Medizin einschließlich Neurologie und Psychiatrie.

Worin besteht diese Ermüdung? Nach Kraus ist sie ein Vorgang chemischer Natur und beruht einerseits auf der Erschöpfung der Assimilationsstoffe, andererseits auf der Anhäufung toxisch wirkender Dissimilierungssprodukte. Verworn[1]) unterscheidet im Sinne der beiden eben genannten Ermüdungskomponenten erstens eine „Ermüdung im engeren Sinne", verursacht durch eine Anhäufung von Ermüdungsstoffen, den Umsatzprodukten bei der Muskelarbeit: der Milchsäure, Phosphorsäure, Kohlensäure, dem Kreatin und anderer Extraktivstoffen, zweitens eine „Erschöpfung", die durch den Verbrauch des Muskel-Brennmaterials und des Sauerstoffes hervorgerufen ist. Das bis jetzt Gesagte bezieht sich auf eine lokale Ermüdung des Muskels.

Es ist nun klar, daß, je stärker die Ermüdung ist, desto mehr Ermüdungsstoffe auftreten, das Blut überschwemmen und vor allem die Nervenzellen angreifen werden. Der resultierende Zustand ist schließlich die totale Ermüdung des Körpers, entsprechend der Verwornschen „Erschöpfung".

Da aber die Aufgabe des Abtransportes der Ermüdungstoffe und der Zuführung des Sauerstoffes zu den arbeitenden Muskeln dem Blute zufällt, ist es verständlich, daß die Muskelarbeit und die aus ihr folgende Ermüdung am innigsten mit dem dritten Faktor, dem Kreislauf, zusammenhängt.

Welche wichtige Rolle der Sauerstoff im Blute bei der Muskelarbeit spielt, konnte Ranke[2]) demonstrieren, indem er mit der Durchleitung arteriellen Blutes

---

1) Vervon, Allgem. Physiologie.

2) Ranke, Archiv für Anatomie und Physiologie 1863, 1864.

durch einen ermüdeten Muskel eine Beseitigung der Ermüdung herbeiführte.

Aus alledem drängt sich die Idee auf, daß ein Muskel umso mehr Arbeit wird leisten können, je besser er durchblutet wird, und daß seine Ermüdung umso schneller eintritt, je weniger Blut er erhält.

In der Verfolgung dieser Idee wurden eine Reihe von Versuchen nach verschiedenen Richtungen hin angestellt. Aus der umfangreichen Literatur will ich nur das in Beziehung zu meinem Thema Stehende besprechen und darauf gelegentlich im Laufe der Arbeit zurückgreifen. Die Untersuchungen der verschiedensten Autoren über die Muskelarbeit bewegen sich stets in einer der folgenden drei Richtungen: es wird entweder das Verhalten der dynamischen Kraft oder des Blutdrucks oder des Blutvolumens zum Gegenstand der Forschung gemacht.

Für die Messung der dynamischen Kraft konstruierte Mosso den Ergographen. Dabei ruht der Unterarm festgeschnallt auf einem Gestell, während der Mittelfinger ein Gewicht durch Rollenübertragung auf und nieder zieht und so eine Arbeit leistet. Diese wird durch eine Feder, die mit der Schnur des Gewichts in Verbindung steht, auf einer rotierenden Trommel als Kurve aufgezeichnet.

Mit diesem Apparat führte Mosso's Schüler Maggiora[1]) zum Studium der Kontraktion und der Ermüdung der Mukseln und Nerven eine Reihe von Versuchen aus. Von seinen Ergebnissen interessieren uns besonders drei.

1) Maggiora, Über die Gesetze der Ermüdung. Archiv für Anatomie u. Physiologie 1890.

Er fand zunächst Folgendes. „Die Arbeit, die ein schon ermüdeter Muskel leistet, schädigt denselben in seiner Leistungsfähigkeit viel mehr, als eine selbst größere Arbeitsleistung unter normalen Bedingungen.“ Maggiora stellte dies fest, indem er einmal einen Muskel jede 30. Minute 15 Kontraktionen machen ließ, später denselben Muskel jede zweite Stunde die ganze Ermüdungskurve schreiben ließ.

Zu zweit interessieren uns die Versuche Maggioras über die Wirkung der Anaemie auf die Ermüdungskurve. Nachdem zunächst eine normale Ermüdungskurve geschrieben worden war, wurde nach zweistündiger Ruhe, 3 Minuten lang die Oberarmarterie komprimiert, und nach Lösung der Kompression der Versuch unter sonst gleichen Bedingungen wiederholt. Nun zeigte sich, daß die Ermüdungskurve außerordentlich schnell sank. Hierauf wurde eine sogenannte Anämiekurve hergestellt, d. h. die Ermüdungskurve wurde während der Kompression der zuführenden Arterie geschrieben. Dieses Mal zeigte sich, daß während der Kompression der Arterie die Kurve langsam sank, nach Lösung der Kompression sofort wieder stieg und zwar schneller, als sie vorher gefallen war. Daraus folgert Maggiora, daß „erstens die Anämie an und für sich der Ermüdung ähnliche Symptome hervorbringen kann und zweitens, daß die Materie für die Muskelarbeit allmählich zerstört wird und durch die Blutzirkulation rasch wieder hergestellt werden kann“.

Das dritte für uns wichtige Resultat Maggioras ist die Feststellung, wie sich die Ermüdung der arbeitenden Muskeln auf die zur selben Zeit ruhenden überträgt. Maggiora schrieb sukzessiv in zweistündigen Pausen

Ermüdungskurven der beiden Mittelfinger, machte dann einen Spaziergang über 10 km, um daran anschließend abermals die Ermüdungskurve der Mittelfinger aufzunehmen. Dabei fand er eine raschere und bedeutendere Senkung gegenüber den Kurven, die er im frischen Zustand geschrieben hatte. „In Folge der allgemeinen Müdigkeit ermüdeten also die Muskeln rascher und leisteten eine geringere Quantität von mechanischer Arbeit."

Diese ergographische Methode Mossos benutzte Weber[1]), jedoch unter Anwendung eines eigens von ihm konstruierten Fuß-Ergographen, um Versuche über die Wirkung der kräftigen Bewegung einer frischen Muskelgruppe auf die Leistungsfähigkeit einer gleichzeitig ermüdeten anzustellen. Weber hatte schon früher gefunden, wovon wir bei der plethysmographischen Messung noch hören werden, daß bei lokaler Muskelerschöpfung durch die Bewegung jeder anderen, relativ frischen Muskelgruppe die reflektorische normale Erweiterung aller Muskelgefäße noch stattfindet, also auch der Gefäße der lokal erschöpften Muskelgruppe. Hierin sah er theoretisch eine Möglichkeit, die Arbeitsleistung des ermüdeten Muskels durch Bewegung einer frischen Muskelgruppe, zu vergrößern. Denn die verstärkte Durchblutung, die mit der Gefäßerweiterung Hand in Hand geht, bewirkt eine Neutralisation der Ermüdungsstoffe und erleichtert die Zuführung des Sauerstoffs. Er reizte die ermüdeten Muskelgruppen elektrisch und konnte nach

1) Weber, eine physiologische Methode, die Leistungsfähigkeit ermüdeter, menschlicher Muskeln zu erhöhen. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1914.

der „Hilfsbewegung“ frischer Muskelgruppen die Arbeitsleistung der ermüdeten Muskeln steigern.

Wir kommen nun zu der Frage, wie sich der Blutdruck bei körperlicher Arbeit verhält. Zunächst einige Worte über Apparate zur Blutdruckmessung! Für diesen Zweck konstruierte Riva Rocci folgenden Apparat: Eine, den Unterarm umschließende Gummimanschette wurde aufgeblasen, bis der Radialispuls verschwand. Der dazu erforderliche Druck konnte an einem Quecksilbermanometer abgelesen werden. Diesen Apparat modifizierte Marey für einen Finger und später Mosso für vier Finger; Mosso setzte dann noch auf die Quecksilbersäule des Apparates von Riva Rocci einen Schwimmer, von dem aus durch Federübertragung die Messung registriert werden konnte.

Die so erhaltene Kurve ist abhängig erstens von der Herztätigkeit und zweitens vom Tonus der Gefäße; sie gibt also jedenfalls nur Aufschluß über das Verhalten des gesamten Gefäßgebietes.

In der Literatur findet man viel mehr über psychische, pharmakologische oder pathologische Beeinflussung des Blutdrucks als gerade über seine Änderung infolge von Muskelarbeit. Was uns an dieser Stelle interessiert, gebe ich im folgenden.

Maximowitsch und Rieder [1]) ließen Muskelarbeit mit dem Gärtner'schen Ergostaten ausführen. Dieser Apparat besteht aus einer mittels einer Kurbel drehbaren Scheibe, deren Bewegung durch eine Reihe von Bremsklötzen moderiert wird. Durch eine Gabelstange mit

1) Maximowitsch und Rieder, Untersuchungen über die durch Muskelarbeit und Flüssigkeitaufnahme bedingte Blutdrucksteigerung. Deutsches Archiv für klinische Medizin. 1910.

verschiebbarem Gewicht werden diese wiederum mehr oder weniger fest an die Scheibe angepreßt. Bei diesen Versuchen wurde gefunden, daß „bei jungen, gesunden Individuen, welche weder an Kreislaufstörungen, noch an allgemeinen Ernährungsstörungen leiden, der Blutdruck durch die Muskelarbeit steigt und unmittelbar nach vollbrachter Arbeit die größte Steigerung, und zwar 20—25 mm Hg erreicht".

Besonders erwähnenswert sind noch zwei Arbeiten über den Einfluß der Übung auf die Blutdrucksteigerung bei Muskelarbeit. Stricker[1]) stellte eine bedeutend geringere Blutdrucksteigerung bei geübten Bergsteigern als bei ungeübten Touristen fest; dasselbe konstatierten Grebner und Grünbaum[2]) bei professionellen Radfahrern.

Masing[3]) untersuchte das Verhalten des Blutdrucks bei Muskelarbeit bei alten und jungen Leuten. Dabei wiesen erstere eine größere Drucksteigerung auf, die jedoch auch schneller wieder sank, als bei jungen Leuten. Ferner ergab sich ein verschiedenes Verhalten je nach der Art der körperlichen Leistung. Die Arbeit wurde durch Adduktion eines Beines, dann beider Beine geleistet, wobei die erstere subjektiv anstrengender war und dementsprechend eine größere Blutdrucksteigerung

---

1) Stricker, Untersuchung über die Gefäßnerven-Zentren im Gehirn und Rückenmark. Med. Jahrbücher der Gesellschaft Wiener Ärzte 1886.

2) Grebner und Grünbaum, Beziehung von Muskelarbeit zu Blutdruck. Wiener med. Presse 1899.

3) Masing, Über das Verhalten des Blutdrucks bei jungen und alten Menschen bei Muskelbewegung. Deutsch. Archiv für klinische Medizin 1902, Heft 3.

ergab, als die Adduktion beider Beine. Masing führt das auf die vermehrte Willenskraft bei Adduktion nur eines Beines zurück. Hier haben wir also das Gegenstück zu der oben erwähnten „Übung". In jedem Falle handelt es sich um zentrale Einflüsse auf den Blutdruck, die uns in ihrer Beziehung zum Blutvolumen im folgenden Absatz noch des näheren beschäftigen werden.

Bevor ich auf die plethysmographische Messung eingehe, will ich noch eine Arbeit von Heilemann[1]) erwähnen, die eine teilweise Illustration der im folgenden beschriebenen, neueren Ergebnisse bietet. Heilemann sah unter dem Mikroskop, daß die Kontraktion eines bestimmten Muskels beim Frosch eine Zunahme der Stromgeschwindigkeit in den Muskelgefäßen hervorruft, daß ferner die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Kapillaren im tätigen Muskel etwa drei mal so groß ist, wie im ruhenden, und, daß die Zunahme der Stromgeschwindigkeit bedingt ist durch eine Erweiterung der größeren Muskelgefäße.

Genaueres über das Verhalten des Blutvolumens bei Muskelarkeit und Ermüdung hat uns vor allem der Berliner Physiologe Ernst Weber durch plethysmographische Messungen übermittelt.

Zunächst veranlaßten ihn die Wechselbeziehungen zwischen Blutdruck und Blutvolumen zu näherer Untersuchung. Er[2]) reizte bestimmte Hirnrindenbezirke elektrisch, während er gleichzeitig den Blutdruck und

1) Heilemann, Das Verhalten der Muskelgefäße während der Kontraktion. Archiv f. Anatomie und Physiologie 1902.

2) Weber, Die Einwirkung der Großhirnrinde auf Blut druck und Organvolumen. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1906.

das Volumen der zugehörigen Extremitäten kontrollierte. Dabei fand er Folgendes.

Erstens: Eine Reizung der Rindengebiete, die den Blutdruck beeinflussen, wirkt auf das Volumen, nicht nur der gegenüberliegenden Extremitäten, sondern das aller Extremitäten gleichmäßig.

Zweitens: Bei Reizung der den Blutdruck beeinflussenden Rindengebiete wird das Volumen der Extremitäten vermehrt.

Und Drittens findet eine gleichzeitig mit der Blutdrucksteigerung einsetzende Verminderung des Volumens der Bauchorgane statt.

Damit schien sich ein zentraler Einfluß auf die Blutverschiebungen zu bewahrheiten, wie ihn, wie oben erwähnt, schon Masing in dem Einfluß der Willenskraft bei Ausführung körperlicher Arbeit vermutet hatte. Den Zusammenhang dieser Dinge hat Weber weiter geklärt. Von seinen Arbeiten will ich die zu meinem Thema in Beziehung stehenden herausgreifen und nach folgendem Schema abhandeln:

I. Normales Verhalten des Blutvolumens bei Muskelarbeit.
II. Umgekehrtes Verhalten des Blutvolumens nach Ermüdung und zwar:
   1. nach lokaler Ermüdung, d. h. nach Ermüdung nur einer bestimmten Muskelgruppe,
   2. nach tolaler Ermüdung d. h. nach Erschöpfung des ganzen Körpers durch stark ermüdende Muskelarbeit.

Weber benutzte bei seinen Versuchen den von Lehmann verbesserten Plethysmographen Mossos, der es ermöglicht, das Volumen eines ganz bestimmten

Gefäßgebietes zu prüfen. Um sich jedoch über die gleichzeitigen Blutverschiebungen in allen nur zugänglichen anderen Körperteilen unterrichten zu können, konstruierte Weber noch einen Apparat zur Messung des Ohrvolumens, einer ohrförmigen Kapsel aus biegsamem Bleiblech und den sog. „inneren Plethysmographen", zur Messung der Volumenänderungen der Bauchorgane. Dies ist ein Katheter, armiert mit einem Gummiballon, der in dem Mastdarm eingeführt wird, nachdem durch einem Einlauf eine Entleerung des Darmes stattgefunden hat. Der Gummiballon wird wenig mit körperwarmem Wasser gefüllt, sodaß er sich leicht der Darmwand anschmiegt. Die Registrierung erfolgt analog dem Prinzip des Mosso-Lehmann'schen Plethysmographen.

Mit diesen Apparaten untersuchte Weber[1)] [2)] [3)] [4)] zunächst die normale Gefäßreaktion auf Muskelarbeit. Dabei fand er eine Verengerung der Bauch- und Gesichtsgefäße bei gleichzeitiger Erweiterung der äußeren Gefäße des Rumpfes und der Glieder und mit diesem Vorgang einhergehend eine Steigerung der Herztätigkeit. Weber erklärt die normale Blutver-

1) Weber, Das Verhältnis von Bewegungsvorstellung zur Bewegung bei ihren körperlichen Allgemein-Wirkungen. Monatshefte f. Psychiatrie u. Neurologie 1906.

2) Über die Ursache der Blutverschiebung im Körper bei verschiedenen psychischen Zuständen. Archiv für Anatomie und Physiologie 1907.

3) Über Gegensätze im vasomotorischen Verhalten der äußeren Teile des Kopfes und des übrigen Körpers bei Mensch und Tier. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1908.

4) Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper insbesondere auf die Blutverteilung. Berlin 1910. Verl. von Springer.

schiebung folgendermaßen: Bei der Muskelarbeit werden die, zu den arbeitenden Muskeln gehörigen Hirnrindenteile gereizt und geben nun ihrerseits Reize an das Vasomotorenzentrum im verlängerten Mark und zwar im Sinne einer Dilatation der Muskelgefäße und einer Konstriktion der Bauchgefäße. Interessant ist die Feststellung Webers [1 4]), daß diese normale Blutverschiebung nicht nur bei tatsächlicher Ausführung kräftiger Bewegung sondern sogar schon bei bloßer intensiver Bewegungsvorstellung eintritt. Ermittelt wurde die Tatsache an hypnotisierten Personen, bei denen jede aktive Bewegung durch den Einfluß der Suggestion ausgeschaltet war. Diese Tatsache sowohl, wie die folgende, kann als Beweis für das zentrale Zustandekommen der Blutverschiebung gelten. Zahlreiche Versuche Webers [4]) zeigen nämlich, daß die normale Blutverschiebung ausbleibt, wenn die Bewegung rein passiv ausgeführt wird. Aus alledem stellt Weber den Satz auf, daß „sehr wichtig, ja entscheidend für das Eintreten der normalen Blutverschiebung beim Menschen die Beteiligung der Hirnrinde ist und, daß bei ihrer gänzlichen Ausschaltung die Blutverschiebung völlig ausbleibt". Zur besseren Übersicht über die normale Blutverschiebung gebe ich das Weber'sche Schema:

Bei Entstehung von Bewegungsvorstellung mit oder ohne Ausführung der Bewegung;

Gehirn	Äußere Kopfteile	Bauchorgane	Glieder und äußere Teile des Rumpfes
+	—	—	+

+ bedeutet Zunahme, — Abnahme der Blutfülle des betreffenden Körperteiles.

Wichtig ist bei der normalen Blutverschiebung nach Weber [1]), daß selbst Arbeit nur eines Gliedes, d. h. lokalisierte Muskelarbeit, zu einer Vermehrung des Blutvolumens auch in den nicht arbeitenden Körperteilen führt. Es war dies das Resultat gleichzeitiger plethysmographischer Messungen an verschiedenen Gliedern bei Arbeit des einen Gliedes.

Wenn wir also noch einmal zusammenfassen, handelt es sich bei der normalen Blutverschiebung infolge von Muskelarbeit erstens um eine zentral bedingte, aktive Dilatation aller Gefäße der äußeren Körperteile, nicht nur derjenigen der arbeitenden Muskelgruppen, und zweitens um eine zentral bedingte, aktive Konstriktion der Gefäße der Bauchorgane.

Es erhebt sich nun die Frage, wie sich nach der Ermüdung die Blutgefäße bei Ausführung einer neuen Muskelarbeit verhalten werden. Diese erneute Arbeit werden wir in Zukunft mit Weber „Probearbeit" nennen Die Ermüdung kann entweder eine lokale oder eine totale sein, je nachdem, ob nur eine Muskelgruppe, oder der ganze Körper ermüdet ist. Bleiben wir zunächst bei der lokalen Ermüdung! Bei ihrer Betrachtung halten wir uns wieder an die Arbeiten Webers. Es gibt darüber noch Ausführungen einiger anderer Autoren, deren Arbeiten wir jedoch wegen falscher Voraussetzungen oder fehlerhafter Technik übergehen können. Weber [2]) stellte fest, daß bei Ermüdung

1) Weber, Über willkürlich verschiedene Gefäßinnervation beider Körperseiten. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1909.

2) Weber, Der Nachweis der durch Muskelarbeit herbeigeführten zentralen Ermüdung durch die Veränderung der bei Muskelarbeit eintretenden Blutverschiebung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1914.

der arbeitenden Muskeln die normale Blutverschiebung auf Probearbeit hin sich umkehrt, daß dann also die Bauchgefäße sich dilatieren und die Gefäße des ermüdeten Gliedes sich kontrahieren. Wir besitzen also in der plethysmographischen Messung eine Methode mit der man den objektiven Nachweis eingetretener Ermüdung liefern kann. Weber erklärt diese Umkehrung der normalen Blutverschiebung aus einer lokalen Ermüdung nicht nur des Muskels selbst, sondern auch des zugehörigen Hirnrindenbezirks, was verständlich wird, wenn man an die Bedeutung desselben für das Zustandekommen der normalen Blutverschiebung denkt, wie es im vorigen Abschnitt gezeigt wurde. Daß die Ermüdung wirklich eine l o k a l e ist, zeigte Weber[1]) durch Ermüdung einer bestimmten Muskelgruppe wobei die Probearbeit anderer, nicht ermüdeter Muskeln eine normale Blutverschiebung ergab. Ich stelle die Ergebnisse Webers in einem Schema zusammen:

I. Nach Ermüdung:
   frisches Glied im Plethysmographen:
   1. Probearbeit des ermüdeten Gliedes — Senkung der Kurve, d. h. Verminderung der Blutfülle in dem betr. Glied.
   2. Probearbeit eines frischen Gliedes — Steigung der Kurve, d. h. Vermehrung der Blutfülle in dem betr. Glied.

II. Nach Ermüdung:
   ermüdetes Glied im Plethysmographen:
   Probearbeit eines frischen Gliedes — Steigung der Kurve.

1) W e b e r, Das Verhältnis der Muskelermüdung zur Gehirnermüdung bei Muskelarbeit.

Interessant sind in diesem Zusammenhang noch die Versuche Webers[1]) an zwei Sportsleuten. Wir haben früher gesehen, daß Stricker bei geübten Bergsteigern und Grebner und Grünbaum bei professionellen Radfahrern eine im Verhältnis zu Ungeübten geringe Blutdruck steigerung bei Ausführung ihrer Arbeit gefunden hatte. Analog konnte Weber mit plethysmographischer Messung feststellen, daß die Umkehr der normalen Blutverschiebung bei Probearbeit eines Beines erst später eintrat, wenn die Sportsleute einen ihnen gewohnten Dauerlauf ausführten, als das bei ungeübten Leuten der Fall war. Er folgert daraus, daß bei den Sportsleuten die Bewegung unter relativ geringerer Beteiligung der Hirnrinde erfolgt und stellt den Satz auf, daß „um so später die Umkehrung der Blutverschiebung erfolgt, je mechanischer die Arbeitsleistung ist".

Zum Schlusse dieses Kapitels müssen wir noch einmal auf die Ursache der Umkehrung der normalen Blutverschiebung nach Ermüdung zurückkommen. Wir hatten früher als Resultat Maggioras[2]) gesehen, daß die Ermüdung der arbeitenden Muskeln sich auf diejenigen fortpflanzt, welche nicht direkt gearbeitet haben. Als Erklärung hierfür nimmt Mosso[3]) die Bildung von Ermüdungsstoffen an, die bei längerer Tätigkeit eine Muskelgruppe in dieser entstehen, mit dem Blutstrom in den Körper und so auch zu den frischen

1) Weber, Das Verhältnis der Muskelermüdung zur Gehirnermüdung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1914.

2) A. Maggiora, Über die Gesetze der Ermüdung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1890.

3) Mosso, Über die Gesetze der Ermüdung. Archiv für Anatomie und Physiologie 1890.

Muskeln gelangen und deren Leistungsfähigkeit schädigen. Mosso sagt jedoch in derselben Arbeit an anderer Stelle bereits, daß die Abnahme der Leistungsfähigkeit nicht nur von muskulären Veränderungen abhängig ist. Er unterscheidet zwischen „Arbeit“ und „Anstrengung“ und teilt die letztere in eine zentrale oder Nervenanstrengung und eine periphere oder Muskelanstrengung. Dieser Gedanke Mossos hat sich durch Webers Darlegungen und Versuche als richtig erwiesen. Bei lokalisierter Muskelermüdung tritt also eine Ermüdung des zugehörigen Rindenbezirkes ein, sodaß „die Art der von diesem Bezirk ausgehenden Reize für das Gefäßzentrum nunmehr so verändert ist, daß sie am gleichen Zentrum umgekehrt wirken und von diesem Zentrum aus die entgegengesetzten Veränderungen der Blutgefäße des Körpers auslösen, wie vorher“.

Wir kommen jetzt zu der Reaktion der Gefäße auf Probearbeit bei totaler Ermüdung, d. h. bei Erschöpfung. Darüber scheint Weber noch nicht so ausgedehnte Versuche angestellt zu haben, wie über die lokale Ermüdung. 1910 sagt er[1]) noch, daß bei allgemeiner Erschöpfung des Körpers„ vielleicht“ auch schon bei Bewegung solcher Muskelgruppen Umkehrung der Gefäßreaktion eintritt, die weniger ermüdet sind. Neuerdings schreibt er[2]) von Versuchen, bei denen er die Versuchsperson 6—8 Stunden hat marschieren oder 1—2 Stunden hat turnen lassen, worauf bei jeder weiteren Muskelprobearbeit „nach einer bestimmten

1) Weber, Das Verhältnis der Muskelermüdung zur Gehirnermüdung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1910.

2) Weber, Über eine neue Methode bei Herzkrankheiten Berlin 1916. Verl. von Hirschwald.

Ruhepause", sowohl bei Probefußarbeit wie bei Probearmarbeit die umgekehrte Gefäßreaktion eintrat. Weiter sollen sich erst nach etwa zwei oder mehrstündiger Ruhe nach dieser totalen Ermüdung die normalen Verhältnisse wieder herstellen. Wir werden darauf bei Besprechung unserer Ergebnisse noch zurückkommen. Die Ursache dieser gänzlichen Umkehr der normalen Blutverschiebung sieht Weber in Folgenden:

„Nach der allgemeinen Erschöpfung des Körpers ist der Gehalt des Blutes an Ermüdungsstoffen so groß geworden, daß das Blut als schädigender Reiz auf das von ihm umspülte Gefäßzentrum im verlängerten Mark wirkt und die Beschaffenheit dieses, seiner besonderen Funktion nach, besonders empfindlichen Organs so verändert, daß weitere Reize bei jeder folgenden Probemuskelarbeit von ihm in umgekehrter Weise zu den Gefäßen weitergegeben werden, sodaß in den Muskeln anstatt der Erweiterung eine Verengerung der Gefäße während der Arbeit jeder Muskelgruppe des Körpers eintritt."

Damit können wir die einleitenden Bemerkungen über den Stand der Wissenschaft in diesen Fragen bei Beginn der eigenen Arbeit abschließen. Wir haben gesehen, wie der Organismus auf Muskelarbeit reagiert, und wie er selbst noch die Schädigung durch ermüdende Muskelarbeit bis zu einem gewissen Grade zu überwinden vermag.

Angeregt durch die im Vorhergehenden erwähnten Untersuchungen über das Verhalten des Organismus

bei Muskelarbeit stellten wir in der Göttinger medizinischen Klinik (stellvertretender Direktor: Prof. Bruns) plethysmographische Untersuchungen an, über deren Ergebnisse ich im Folgenden berichten werde.

Wir richteten unsere Versuche so ein, daß zunächst auf Probearbeit hin normale Blutverschiebung, dann die Gefäßreaktion nach lokaler Ermüdung und endlich nach totaler Ermüdung erfolgen konnte. Besonders untersuchten wir noch die Wirkung einer lokalen Abkühlung vermittelst eines Äthylchloridsprays bei frischem und ermüdetetem Zustand der Versuchsperson. Die Kälte wurde an der Brust als einem indifferenten Orte appliziert. Besonders gingen wir den Verhältnissen bei der totalen Ermüdung nach, über die bei Weber, wie oben berichtet, Genaueres nicht zu finden ist. Im Laufe der Untersuchungen machten wir dann noch eine Reihe anderer Beobachtungen,

Ich beschreibe zunächst die allgemeine Anordnung bei den Versuchen. Wir legten die Versuchsperson auf ein Ruhebett in halbliegender Stellung, sodaß eine Kompression der Bauchgefäße als ausgeschlossen betrachtet werden konnte. Den einen Arm steckten wir in einen Mosso-Lehmann'schen Plethysmographen, dessen Gummimanschette mit Wasser von Körpertemperatur gefüllt wurde, die während des ganzen Versuchs sorgfältig erhalten wurde. Um ein Vorfallen der Gummimanschette zu vermeiden, wurde ein Diaphragma aus Pappe vorgesetzt und dieses gut mit Watte abgedichtet. Die Volumenänderung registrierten wir mittels einer Marey'schen Kapsel auf einer berußten Trommel. Da nach den Weber'schen Untersuchungen die plethysmographische Kurve, wie leicht verständlich,

sehr wesentlich durch Atmungsschwankungen beeinflußt wird, wurde stets gleichzeitig eine Atmungskurve mit dem Pneumographen nach Brondgeest geschrieben. Während der Versuche wurde der Versuchsperson aufgegeben, mit leicht geöffnetem Munde möglichst ruhig zu atmen und die Augen zu schließen, damit nicht irgendwelche Sinneseindrücke das Bild der Kurve beeinträchtigten. Für die Versuche nahmen wir nur gesunde Leute; Vasomotoriker und Hysteriker wurden ebenfalls ausgeschlossen, da bei ihnen die starke Schwankung des Niveaus der Kurve unter Umständen ganz falsche Resultate geben kann. Die Pause zwischen den einzelnen Teilen der Versuche dauerte nie über 8 Minuten, um das Gesamtbild der Muskelermüdungskurve nicht durch eine vorzeitige Ermüdung des zugehörigen Hirnrindenbezirkes zu beeinträchtigen. Dies geschah aus folgendem Grunde: Weber[1]) hat uns gezeigt, daß eine länger als 8 Minuten dauernde Arbeitspause für den Zustand der zugehörigen, motorischen Rindenzone schädlich ist. Er erklärt diese Tatsache damit, daß mehrere Minuten nach Beendigung der Muskelarbeit die vermehrte Blutzufuhr zu der betreffenden Hirnrindenzone aufhört, sodaß nunmehr die Neutralisierung der dort angehäuften Ermüdungsstoffe verzögert wird. Daraus resultiert eine nachteilige Veränderung des Stoffwechsels in dem betreffenden Hirnrindenbezirk, die nach einer Pause von 10—12 Minuten so stark wird, daß jetzt bei Probearbeit der ermüdeten Muskeln die Reize des zugehörigen Teiles der Hirn-

1) Weber, Die Beschleunigung des Eintretens der zentralen Ermüdung durch eine kurze Arbeitspause. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1914.

rinde zum Gefäßzentrum anormale geworden sind. Indem wir also die von Weber aufgestellte Grenze von 8 Minuten nicht überschritten, gaben wir dem Blute der betreffenden Hirnrindenzone durch erneute Probearbeit stets Gelegenheit, die Ermüdungsstoffe rechtzeitig fortzuschaffen und die Änderung des Stoffwechsels hintanzuhalten. Wir konnten also bei der fortlaufenden Registrierung der Ermüdungskurve die letztere als lediglich durch den Einfluß der Arbeit hervorgerufen betrachten.

Bei der Anstellung der Versuche gingen wir nun folgendermaßen vor:

I. Rechter frischer Arm im Plethysmographen:
   1. Probearbeit derrechten Hand im Plethysmographen (Faustmachen).
   2. Probearbeit des linken Armes (Faust).
   3. Probearbeit eines Fußes.

II. Beide frische Arme in je einen Plethysmographen:
   1. Probearbeit des Fußes.
   2. Kälte am indifferenten Ort (Brust).

III. Rechter frischer Arm im Plethysmographen:
   Nach Ermüdung des linken Armes durch Gewichtsstemmen:
   1. Probearbeit des l. ermüdeten Armes (Faustmachen).
   2. Faust im Apparat.
   3. Probearbeit eines Fußes.
   4. Kälte am indifferenten Ort (Brust).

Die Ermüdung des linken Armes durch Gewichtstemmen wurde immer weiter fortgesetzt, bis die Senkung der Kurve eintrat sowohl bei Probearbeit des ermüdeten Armes, d. i. der Nachweis der objektiven lokalisierten Ermüdung, wie schließlich auch bei Probe-

arbeit eines Fußes, d. i. der Nachweis der objektiven, totalen Ermüdung.

IV. Linker, ermüdeter Arm im Plethysmographen:
1. Faust im Apparat.
2. Probearbeit des frischen, rechten Armes.
3. Probearbeit eines Fußes.
4. Kälte am indifferenten Ort.

Nach erneuter Ermüdung des linken Armes durch Gewichtstemmen:

V. Linker, ermüdeter Arm und rechter, frischer Arm in je einem Plethysmographen:
1. Faust in beiden Apparaten gleichzeitig.
2. Probearbeit eines Fußes.
3. Kälte am indifferenten Ort (Brust).

Im einzelnen ist bei Anstellung der Versuche in der beschriebenen Art noch folgendes zu beachten:

Bei Einführung der Hand in die Gummimanschette des Plethysmographen müssen von vornherein die Finger gekrümmt sein, damit sich bei Faustmachen im Apparat nicht die Gummimanschette dazwischen schiebt.

Durch das Schließen der Faust im Apparat entsteht eine momentane Druckschwankung, die ausgeglichen werden muß. Zweckmäßig geschieht das durch Einschalten eines Dreiwegehahns in die Schlauchleitung. Derselbe ermöglicht eine Verbindung der Leitung mit der Außenluft und eine gleichzeitige Ruhestellung des Schreibers, solange bis die Versuchsperson die Faust fest geschlossen wieder still hält. Nun kann man eine richtige Arbeitskurve eines Gliedes im Plethysmographen erhalten. Vor dem Aufhören der Arbeit muß man ebenso beim Öffnen der Faust auch den Dreiwegehahn wieder auf „offen“ stellen.

Indem man die ermüdende Arbeit mit dem linken Arm ausführen läßt, kann man den Einfluß der Übung, die bei Schmieden, Schlossern, Landwirten und ähnlichen geübten Leuten keine geringe Rolle spielt, wenigstens soweit vermindern, daß der Eintritt der Ermüdung im Verhältnis zu ungeübten Leuten nicht allzu lange dauert.

Die Probearbeit des nicht im Apparat befindlichen Armes wurde ebenfalls durch Faustmachen ausgeführt. Das hat den Vorteil, daß die Versuchsperson sich garnicht bewegt und also auch keine Schwankungen mit den Apparaten hervorrufen kann. Damit hierbei die Finger einen Angriffspunkt haben, gibt man zweckmäßig in die arbeitende Hand einen Wattebausch. Die Probearbeit des gut unterstützten Fußes wurde durch eine aktive Dorsal- und Plantarflexion geleistet. Unter Beobachtung der angeführten Kautelen durften wir darauf rechnen, einwandfreie Resultate zu erhalten.

Da aus äußeren Gründen ein Wiedergabe unserer Kurven in dieser Arbeit nicht möglich ist, muß ich mich darauf beschränken, die Ergebnisse unserer Untersuchungen mitzuteilen.

I. Zunächst konnten wir die normale Blutverschiebung bei Muskelarbeit, wie Weber sie beschrieben hat, bestätigen. Im Teil I unseres oben angeführten Versuch-Schemas ließen wir eine Muskelarbeit ausführen und fanden stets eine Steigung der Kurve, die besonders deutlich wurde, wenn wir gleichzeitig das Plethysmogramm beider Arme schrieben.

II. Ebenfalls bestätigte sich die Umkehrung der normalen Blutverschiebung bei Probearbeit des ermüdeten Gliedes. Im Teil III unseres Versuch-Schemas

wurde die ermüdende Arbeit bis zum Eintritt der umgekehrten Gefäßreaktion fortgeführt; der Teil IV und V des Schemas boten die Möglichkeit der Kontrolle, daß es sich lediglich um eine lokalisierte Ermüdung handelte. Der objektive Nachweis lokalisierter Muskelermüdung ist also dann geführt, wenn die Probearbeit des ermüdeten Gliedes eine Senkung ergibt, während die Probearbeit eines frischen Gliedes noch die normale Steigung der Kurve zeigt.

III. Bei unseren Untersuchungen über die totale Ermüdung stimmen wir mit Weber nicht ganz überein. Weber führte die totale Ermüdung des ganzen Körpers gleich bis zu einem sehr hohen Grade durch, indem er, wie oben erwähnt, seine Versuchspersonen 6—8 Std. marschieren oder 1—2 Stunden turnen ließ. Es wurden dabei also alle möglichen Muskeln ermüdet und dementsprechend die zugehörigen Rindenbezirke. Infolgedessen könnte die dabei gefundene Senkung der Kurve bei Probefußarbeit oder Probearmarbeit auch auf die Ermüdung der zugehörigen Hirnrindenzonen bezogen werden, weil eben kein wirkliches frisches Glied mehr für die Probearbeit vorhanden ist. Das nimmt Weber nun zwar nicht an, sondern führt die gefundene Tatsache auf eine Anhäufung von Ermüdungsstoffen im Blute zurück, wodurch das Gefäßzentrum im verlängerten Marke geschädigt würde. Tatsächlich verhält es sich so, aber jedenfalls geht das aus den erwähnten Versuchen Webers nicht einwandfrei hervor. Zum Zwecke genaueren Studiums dieser Verhältnisse ermüdeten wir in Ruhelage der Versuchsperson nur einen Arm durch Gewichtstemmen bis zur völligen Erschöpfung, sodaß also gleichzeitig eine Ermüdung des

ganzen Körpers eintrat. Den objektiven Nachweis dieser totalen Ermüdung konnten wir dadurch führen, daß nunmehr auch eine Probearbeit des frischen Fußes eine Senkung der Kurve ergab. Die Ermüdung des Gehirns konnte sich also nur auf die zu dem ermüdeten Arm gehörige motorische Rindenzone beziehen, denn Weber[1]) betont ausdrücklich, daß sich die Ermüdung nicht von einem ermüdeten Rindenbezirk auf einen benachbarten fortsetzen kann. Wenn nun gleichwohl die Probearbeit des frischen Fußes, dessen Rindenzone völlig intakt ist, eine Senkung der Kurve ergibt, so bleibt nichts übrig, als eine Ermüdung des Gefäßzentrums selbst anzunehmen. In dem Teil III unseres Versuchschemas stellten wir die Versuche in dieser Weise an, und der Teil IV und V boten dazu die Kontrolle.

Weber sagt weiter über die totale Ermüdung, daß „eine bestimmte Ruhepause" für den Nachweis der völlig umgekehrten Gefäßreaktion erforderlich sei. Diese nötige Ruhepause können wir nicht bestätigen. Wir fanden erstmalig, gelegentlich unserer Untersuchungen über die lokale Muskelermüdung, die umgekehrte Gefäßreaktion auch bei Probearbeit eines frischen Gliedes, als wir die Versuchsperson fortlaufend ohne jede Pause durch Gewichtstemmen mit immer demselben Arm ermüdeten und nur nach jeder Ermüdung die Kurve schrieben. Diese Beobachtung hat sich im Laufe der Versuche immer wieder bestätigt.

Auch der zweiten Behauptung Webers, daß nach totaler Ermüdung erst nach zwei- oder mehrstündiger Ruhe die normalen Verhältnisse sich wieder herstellen,

1) Weber: Das Verhältnis der Muskelermüdung zur Gehirnermüdung. Archiv f. Anatomie u. Physilogie 1914.

können wir uns nicht ganz anschließen. Dies Ergebnis Webers liegt wohl daran, daß bei ihm die totale Ermüdung wegen der Beteiligung der verschiedensten Muskelgruppen eine sehr hochgradige war. Bei uns liegen die Verhältnisse wegen der Ermüdung nur eines Gliedes, die infolge ihrer äußersten Durchführung zu einer Ermüdung des ganzen Körpers führte, viel eindeutiger. Wir konnten besonders das Verhalten der Gefäßreaktion an der Grenze der lokalisierten und totalen Ermüdung beobachten. Dabei fanden wir, daß an dieser Grenze die totale Ermüdung sehr leicht wieder in die lokalisierte übergeht, was zweifellos einen für den Körper günstigen Vorgang bedeutet. Wollte man das Plethysmogramm beider Arme, sowohl des ermüdeten wie des frischen, bei Probearbeit des frischen Fußes gleichzeitig schreiben, so genügte unter Umständen die kurze Zeit, die für eine schnelle Montierung beider Plethysmographen nötig ist, um eine Erholung herbeizuführen, sodaß nunmehr die Probearbeit des frischen Fußes eine Steigung der Kurve ergab, während sie vorher einwandfrei eine Senkung ergeben hatte. Man mußte schon die Kraft des arbeitenden Armes bis zum Äußersten erschöpfen, um bei Probearbeit des frischen Fußes am gleichzeitigen Plethysmogramm sowohl des ermüdeten wie des frischen Armes eine Senkung zu bekommen. Alsdann darf jedoch der Nachweis der totalen Ermüdung als geführt betrachtet werden. Je nach dem Grad der Ermüdung veränderte sich etwas die Wartezeit, bis die totale Ermüdung wieder in die lokalisierte überging, doch hat sich nie eine 1—2 stündige Wartezeit nötig erwiesen.

IV. Eine Andeutung Webers[1]) können wir bestätigen, daß nämlich zwischen dem „subjektiven Gefühl des Müdeseins“ und der „objektiv nachweisbaren Ermüdung“ ein bei den einzelnen Leuten verschieden großer Zeitraum liegt, der um so größer wird, je körperlich geübter die Versuchsperson ist. Die ermüdende Muskelarbeit wurde stets durch Gewichtstemmen des linken Armes geleistet. Jede Ermüdung wurde so weit durchgeführt, bis die Versuchsperson angab, nicht mehr stemmen zu können. Nach jeder Ermüdung wurde dann, nach dem oben gegebenen Schema, die Probearbeits-Kurve geschrieben. Wir fanden den Eintritt der objektiv nachweisbaren, lokalisierten Ermüdung bei körperlich ungeübten Leuten nach der vierten und fünften, bei geübten nach der sechsten und siebenten Ermüdung; den Eintritt der totalen Ermüdung nach der siebenten und achten, resp. nach der neunten und zehnten ermüdenden Arbeit. Dabei ist zu bemerken, daß unsere Versuchspersonen meist Soldaten zwischen 20 und 30 Jahren waren. Das „subjektive Gefühl des Müdeseins“ trat bei allen annähernd zur gleichen Zeit auf, da auch dem körperlich Geübten die Ausführung einer anstrengenden Muskelarbeit mit dem „linken“ Arm ungewohnt ist. Dies plethysmographische Ergebnis bestätigt zugleich den oben erwähnten, von Stricker und Grebner und Grünbaum gefundenen Einfluß der „Übung“ auf Muskelarbeit bei Messungen des Blutdrucks.

---

1) Weber, Der Nachweis der durch Muskelarbeit herbeigeführten zentralen Ermüdung durch die Veränderung bei der Muskelarbeit eintretenden Blutverschiebung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1914.

V. Bei objektiver lokalisierter Ermüdung werden bei Probearbeit die einzelnen Volumpulse am Plethysmogramm zunächst höher. Führt man die Ermüdung weiter durch, bis die völlig umgekehrte Gefäßreaktion eintritt, so werden die einzelnen Volumpulse kleiner, als sie im Ruhezustand des Körpers waren, bevor noch irgend eine ermüdende Arbeit geleistet war.

VI. Die Kälteapplikation gibt stets eine Senkung der Kurve. Von Wert ist nur ihre Anwendung am indifferenten Ort, d. h. an der Brust, weil von dort die Entfernung zu den Extremitäten über die Hirnrinde, wie auch über das Vasomotorenzentrum relativ die gleiche ist. Bei gleichzeitiger Aufnahme des Plethysmogramms sowohl vom ermüdeten, wie vom frischen Arm war die Kältereaktion bei lokalisierter Ermüdung bei einer großen Anzahl von Kurven deutlich stärker am ermüdeten Arm, als am nicht ermüdeten; doch scheinen hier immerhin individuelle Verschiedenheiten zu bestehen. Bei totaler Ermüdung ist dagegen die Reaktion kaum stärker oder bleibt gleich mit der am frischen Arm. Ersteres würde für eine häufig vorkommende, größere Empfindlichkeit der Gefäßnerven des ermüdeten Armes unter dem Einfluß der Muskelarbeit sprechen; letzteres ist nichts anderes als eine Bestätigung des Eintritts der völlig umgekehrten Gefäßreaktion bei der totalen Ermüdung, bei der eben alle peripheren Muskelgefäße kontrahiert sind.

Überblicken wir zum Schlusse noch einmal die Ergebnisse der verschiedensten Autoren, so finden wir, daß die Beziehungen von Muskelarbeit zu Blutdruck und

Blutvolumen sich immer mehr klären, daß aber doch noch manche Frage offen geblieben ist. Immerhin ist schon vieles praktisch eventuell Verwertbare bei den Versuchen herausgekommen. Den Anfang dazu machte Weber durch seine Arbeit: „Über eine neue Untersuchungsmethode bei Herzkrankheiten". Hier ist zuerst die normale und umgekehrte Gefäßreaktion zur Diagnose der Herzkrankheiten herangezogen, denn der herzkranke Mensch gibt dieselbe umgekehrte Gefäßreaktion, wie der Ermüdete. Letzteres beweist wiederum die Richtigkeit des Kraus'schen Satzes, daß die konstitutionelle Kraft, infolge der sie bedingenden Faktoren, an der Reaktion des Organismus auf Muskelarbeit gemessen werden kann. Es steht zu erwarten, daß die Wissenschaft aus dieser Erkentnis in Zukunft noch manches wertvolle, diagnostische Hilfsmittel ziehen wird.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. O. Bruns für die freundliche Zuweisung des Themas und Förderung der Arbeit sowie Frl. cand. med. Barca und Herrn cand. med. Bradtke für die liebenswürdige Unterstützung bei der Anstellung der Versuche ergebenst zu danken.

Lebenslauf.

Am 17 März 1891 wurde ich, Günther, Johannn Garlich Müller als Sohn des prakt. Arztes Dr. med. Hermann Müller zu Petersdorf auf Fehmarn geboren. Nachdem ich zuerst die Volksschule, dann eine Privatschule im elterlichen Wohnorte besucht hatte, kam ich Ostern 1904 auf das Kgl. Kaiser-Wilhelms Gymnasium zu Wilhelmshaven, wo ich Ostern 1910 die Reifeprüfung bestand. Alsdann widmete ich mich dem Studium der Medizin auf den Universitäten Berlin, Greifswald und Göttingen und bestand in Göttingen am 27. Juli 1912 die ärztliche Vorprüfung und am 23. Mai 1917, aus dem Felde beurlaubt, die ärztliche Staatsprüfung.